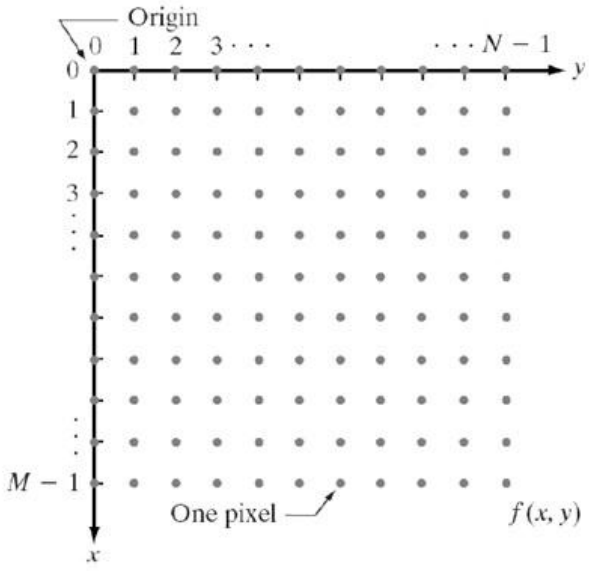
BAB 2
LANDASAN TEORI

2.1 Citra Digital

Citra adalah gambar pada bidang dua dimensi, maka sebuah citra merupakan dimensi spasial atau bidang yang berisi informasi warna yang tidak bergantung waktu [8]. Citra digital merupakan suatu gambar yang tersusun dari *pixel*, dimana tiap *pixel* merepresentasikan warna (tingkat keabuan untuk gambar hitam putih) pada suatu titik di gambar [2]. Secara umum, pengolahan citra digital menunjukkan pemrosesan gambar 2 dimensi menggunakan komputer. Citra digital merupakan sebuah larik (*array*) yang berisi nilai-nilai real maupun komplek yang direpsentasikan dengan deretan bit tertentu.

Sebuah citra dapat didefinisikan sebagai fungsi *f(x,y)* berukuran M baris dan N kolom, dengan x dan y adalah koordinat spasial, dan amplitudo *f* di titik koordinat (*x,y*) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut. Apabila nilai x,y, dan nilai amplitudo f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit maka dapat dikatakan bahwa citra tersebut adalah citra digital.



Gambar 2.1 koordinat citra digital

2.1.1 Elemen citra Digital

citra digital mengandung sejumlah elemen-elemen dasar. Elemen-elemen dasar tersebut dimanipulasi dalam pengolahan citra dan dieksploitasi lebih lanjut dalam computer vision. Elemen-elemen dasar yang penting diantaranya adalah:

1. Kecerahan (*brightness*)

   Kecerahan adalah kata lain untuk intensitas cahaya. Kecerahan pada sebuah titik (*pixel*) di dalam citra bukanlah intensitas yang riil, tetapi sebenarnya adalah intensitas rata-rata dari suatu area yang melingkupinya. Sistem visual manusia mampu menyesuaikan dirinya dengan tingkat kecerahan (*brightness level*) mulai dari yang paling rendah sampai yang paling tinggi dengan jangkauan sebesar 10^{10}.

2. Kontras (*contrast*)

   Kontras menyatakan sebaran terang (*lightness*) dan gelap (*darkness*) di dalam sebuah gambar. Citra dengan kontras rendah dicirikan oleh sebagian besar komposisi citranya adalah terang atau sebagian besar gelap. Pada citra dengan kontras yang baik, komposisi gelap dan terang tersebar secara merata.

3. Kontur (*contour*)

   Kontur adalah keaadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada pixel-pixel yang bertetangga. Karena adanya perubahan intesitas inilah mata kita mampu mendeteksi tepi-tepi (*edge*) objek di dalam citra.

4. Warna (*color*)

   Warna adalah persepsi yang dirasakan oleh sistem visual manusia terhadap panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh objek. Setiap warna mempunyai panjang gelombang (λ) yang berbeda. Warna merah mempunyai panjang gelombang paling tinggi, sedangkan warna ungu mempunyai panjang gelombang paling rendah. Warna-warna yang diterima oleh mata (sistem visual manusia) merupakan hasil kombinasi cahaya dengan panjang gelombang berbeda. Penelitian memperlihatkan

bahwa kombinasi warna yang memberikan rentang warna yang paling lebar adalah *red* (R), *green* (G), dan *blue* (B).

5. Bentuk (*shape*)

   Shape adalah properti intrinsik dari objek tiga dimensi, dengan pengertian bahwa shape merupakan properti intrinsik utama untuk sistem visual manusia. Manusia lebih sering mengasosiasikan objek dengan bentuknya dariapa elemen lainnya. Pada umumnya, citra yang dibentuk oleh mata merupaka citra dwimatra (2 dimensi), sedangkan objek yang dilihat umumnya berbentuk trimatra (3 dimensi).

6. Tekstur (*texture*)

   Tekstur dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan pixel-pixel yang bertetangga. Tekstur tidak dapat didefinisikan untuk sebuah pixel. Sistem visual manusia pada hakikatnya tidak menerima informasi citra secara independen pada setiap pixel, melainkan suatu citra dianggap sebagai suatu kesatuan.

2.1.2 Resolusi Citra

Resolusi citra merupakan tingkat detail suatu citra. Semakin tinggi resolusi citra maka akan semakin tinggi pula tingkat detail dari citra tersebut. Satuan dalam pengukuran resolusi citra dapat berupa ukuran fisik (jumlah garis per mm/jumlah garis per inchi) atau dapat berupa ukuran citra menyeluruh (jumlah garis per tinggi citra). Resolusi sebuah citra dapat diukur dengan berbagai cara.

1. Resolusi Pixel

   Resolusi pixel merupakan perhitungan jumlah pixel dalam sebuah citra digital. Sebuah citra dengan tinggi N pixel dan lebar M pixel berarti memiliki resolusi sebesan M x N. Resolusi pixel akan memberikan dua buah angka integer yang secara berurutan akan mewakili jumlah pixel lebar dan jumlah pixel tinggi dari citra tersebut.

2. Resolusi Spasial

   Resolusi spasial menunjukkan seberapa dekat jarak setiap garis pada citra. Jarak tersebut tergantung dari sistem yang menciptakan citra tersebut. Resolusi spasial menghasilkan jumlah pixel per satuan panjang. Resolusi spasial dari senuah monitor komputer adalah 72 hingga 100 garis per inchi atau dalam resolusi pixel 72 hingga 100 ppi.

3. Resolusi Spektral

   Sebuah citra digital membedakan intensitas ke dalam beberapa spektrum. Citra multi spektrum akan memberikan spektrum atau panjang gelombang yang lebih baik yang akan digunakan untuk menampilkan warna.

4. Resolusi Temporal

   Resolusi temporal berkaitan dengan video. Suatu video merupakan kumpulan frame statis yang berupa citra yang berurutan dan ditampilkan secara cepat. Resolusi temporal memberikan jumlah frame yang dapat ditampilkan setaip detik dengan satuan *frame per second* (fps).

5. Resolusi Radiometrik

   Resolusi ii memberikan nilai atau tingkat kehalusan citra yang dapat ditampilkan dan biasanya ditampilkan dalam satuan bit, contohnya citra 8 bit dan citra 256 bit. Semakin tinggi resolusi radiometrik ini maka semakin baik perbedaan intensitas yang ditampikan.

2.1.3 Jenis Citra

Nilai suatu pixel memiliki nilai dalam rentang tertentu, dari nilai minimum sampai nilai maksimum. Jangkauan yang digunakan berbeda-beda tergantung dari jenis warnanya. Namun secara umum jangkauannya adalah 0 – 255. Citra dengan penggambaran seperti ini digolongkan ke dalam citra integer.

1. Citra Biner

   Citra biner adalah citra yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai pixel yaitu hitam dan putih. Citra biner juga disebut sebagai citra B&W (black and white) atau citra monokrom. Hanya dibutuhkan 1 bit untuk mewakili nilai setiap pixel dari citra biner.

   Citra biner sering kali muncul sebagai hasil dari proses pengolahan seperti segmentasi, pengambangan, morfologi, ataupun dithering.



Gambar 2.2 Citra Biner

2. Citra *Grayscale*

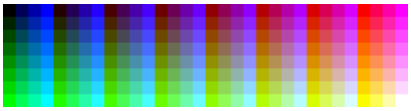
   Citra *grayscale* merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pixelnya, sengan kata lain nilai bagian RED = GREEN = BLUE. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah warna dari hitam, keabuan, dan putih. Tingkatan keabuan di sini merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga mendekati putih.

3. Citra warna (8 bit)

   Setiap pixel dari citra warna (8 bit) hanya diwakili oleh 8 bit dengan jumlah warna maksimum yang dapat digunakan adalah 256 warna. Ada dua jenis citra warna 8 bit. Pertama, citra warna 8 bit dengan menggunakan palet warna 256 dengan setiap paletnya memiliki pemetaan nilai (colormap) RGB tertentu. Model ini lebih sering digunakan. Kedua, setiap pixel memiliki format 8 bit sebagai bertikut.

Bit-7	Bit-6	Bit-5	Bit-4	Bit-3	Bit-2	Bit-1	Bit-0
R	R	R	G	B	G	B	

Bentuk kedua dinamakan 8 bit truecolor. Berikut ini adalah warna-warnanya.



Gambar 2.3 8 bit truecolor

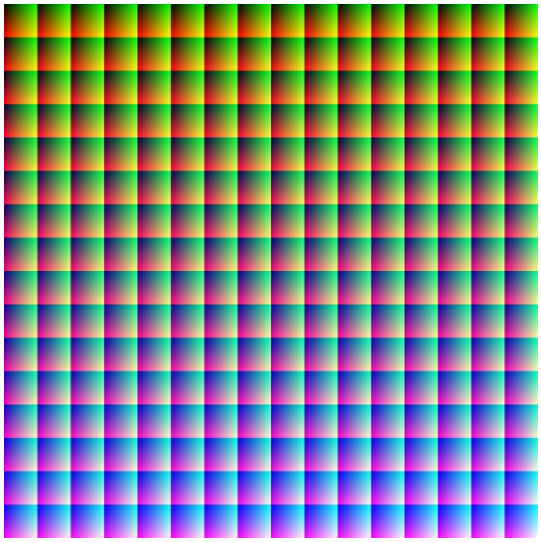
4. Citra warna (16 bit)

Citra warna 16 bit (biasanya disebut sebagai citra highcolor) dengan setiap pixelnya diwakili dengan 2 byte memory 916 bit). Warna 16 bit memiliki 65.536 warna. Dalam formasi bitnya, nilai merah dan biru mengambil tempat di 5 bit di kanan dan kiri. Komponen hijau memiliki 5 bit ditambah 1 bit ekstra. Pemilihan komponen hijau dengan deret 6 bit dikarenakan penglihatan manusia lebih sensitif terhadap warna hijau.

	Bit-15	Bit-14	Bit-13	Bit-12	Bit-11	Bit-10	Bit-9	Bit-8	Bit-7	Bit-6	Bit-5	Bit-4	Bit-3	Bit-2	Bit-1	Bit-0
B	R	R	R	R	R	G	G	G	G	G	G	B	B	B	B	B

er

ikut ini adalah deret warna yang dihasilkan dari warna 16 bit.



Gambar 2.3 16 bit truecolor

5. Citra warna (24 bit)

   Setiap pixel dari citra warna 24 bit diwakili dengan 24 bit sehingga total 16.777.216 variasi warna. Variasi ini sudah lebih dari cukup untuk memvisualisasikan seluruh warna yang dapat dilihat penglihatan manusia. Penglihatan manusia dipercaya hanya dapat membedakan hingga 10 juta warna saja. Setiap poin informasi pixel (RGB) disimpan ke dalam 1 byte data. 8 bit pertama menyimpan nilai biru, kemudian diikuti dengan nilai hijau pada bit kedua dan pada 8 bit terakhir merupakan warna merah.

2.1.4 Format File Citra

Format file citra standar yang digunakan saat ini terdiri dari beberapa jenis. Format-format ini digunakan dalam menyimpan citra dalam sebuah file. Setiap format memiliki karakteristik masing-masing.

1. Bitmap (.bmp)

   Format .bmp adalah format penyimpanan standar tanpa kompresi yang umum dapat digunakan untuk menyimpan citra biner hingga citra warna. Format ini terdiri dari beberapa jenis yang setiap jenisnya ditentukan dengan jumlah nilai bit yang digunakan untuk menyimpan sebuah nilai

pixel. Saat ini format BMP kurang diminati karena ukuran berkasnya relatif lebih besar daripada berkas JPG. Namun format ini memiliki kelebihan yaitu kualitas yang bagus karena citranya tidak dimampatkan sehingga tidak ada informasi yang hilang.

2. Tagged Image Format (.tif, .tiff)

   Format .tif merupakan format penyimpanan citra yang dapat digunakan untuk menyimpan citra bitmap hingga citra dengan warna palet terkompresi. Format ini dapat digunakan untuk menyimpan citra yang tidak terkompresi dan juga citra terkompresi.

3. Portable Network Graphics (.png)

   Format ,png adalah format penyimpanan citra terkompresi. Format ini dapat digunakan pada citra *grayscale*, citra dengan palet warna, dan juga citra fullcolor. Format .png juga mampu menyimpan informasi hingga kanal alpha dengan penyimpanan sebesar 1 hingga 16 bit per kanal.

4. JPEG (.jpg)

   Format .jpg adalah format yang sanat umum digunakan saat ini khususnya untuk transmisi citra. Format ini digunakan untuk menyimpan citra hasil kompresi dengan metode JPEG.

5. MPEG (.mpg)

   Format ini digunakan di dunia internet dan diperuntukkan sebagai format penyimpanan citra bergerak (video). Format ini mendukung video dengan kompresi ber-rugi.

6. Graphics Interchange Format (.gif)

   Format ini dapat digunakan pada citra warna dengan palet 8 bit. Penggunaan umumnya pada aplikasi web. Kualitas yang rendah

menyebabkan format ini tidak terlalu populer di kalangan peneliti pengolahan citra digital.

7. Portable Image File Format

   Format ini memiliki beberapa bagian diantaranya adalah *portable bitmap*, *portable graymap*, *portable pixmap*, dan *portable network* map dengan format berturut-turut adalah .pbm, .pgm, .ppm dan .pnm. format ini baik digunakan untuk menyimpan dan membaca kembali data citra.

2.2 Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah pemrosesan citra, khususnya dengan menggunakan komputer, menjadi citra yang kualitasnya lebih baik. Pengolahan citra bertujuan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasikan oleh manusia atau mesin. Teknik-teknik pengolahan citra mentransformasikan citra menjadi citra lain. Masukannya adalah citra dan keluarannya juga citra, namun citra keluaran mempunya kualitas lebih baik daripada citra masukan.

2.2.1 Operasi Pengolahan Citra

Operasi-operasi yang dilakukan di dalam pengolahan citra banyak ragamnya. Secara umum operasi pengolahan citra dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis.

1. Perbaikan kualitas citra (*image enhancement*)

   Jenis operasi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara memanipulasi parameter-parameter citra. Dengan operasi ini, ciri-ciri khusus yang terdapat di dalam citra lebih ditonjolkan. Contoh-contoh operasi perbaikan citra adalah perbaikan kontras gelap/terang, perbaikan tepian objek (*edge enhancement*), penajaman (*sharpening*), pemberian warna semu (*pseudocoloring*), dan penapisan derau (*noise filtering*).

2. Pemugaran citra (image restoration)

   Oprasi ini bertujuan menghilangkan atau meminimumkan cacat pada citra. Tujuan pemugaran citra hampir sama dengan operasi perbaikan citra. Bedanya, pada pemugaran citra penyebab degradasi gambar diketahui. Contoh-contoh operasi pemugaran citra yaitu penghilangan kesamaran (*deblurring*) dan penghilangan derau (*noise*).

3. Pemampatan citra (*image compression*)

   Jenis operasi ini dilakukan agar citra dapat direpresentasikan dalam betuk yang lebih kompak sehingga memerlukan memori yang lebih sedikit. Hal penting yang harus diperhatikan adalah citra yang telah dimampatkan harus tetap mempunyai kualitas gambar yang bagus.

4. Segmentasi citra (*image segmentation*)

   Jenis operasi ini bertujuan untuk memecah suatu citra ke dalam beberap segmen dengan suatu kriteria tertentu.

5. Pengorakan citra (*image analysis*)

   Jenis operasi ini bertujuan menghitung besaran kuantitif dari citra untuk menghasilkan deskripsinta. Teknik pengorakan citra mengekstraksi ciri-ciri tertentu yang membantu dalam identifikasi objek. Contoh-contoh operasi pengorakan citra adalah pendeteksian tepi objek (*edge detection*), ekstraksi batas (*boundary*) dan representasi daerah (*region*).

6. Rekonstruksi citra (*image reconstruction*)

   Jenis operasi ini bertujuan untuk membentuk ulang objek dari beberapa citra hasil proyeksi. Operasi rekonstruksi citra banyak digunakan dalam bidang medis. Misalnya beberapa foto *rontgen* dengan sinar *X* digunakan untuk membentuk ulang gambar organ tubuh.

2.2.2 Penerapan Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital dimulai sekitar awal tahun 1960-an, saat itu diluncurkan komputer yang mampu melakukan pengolahan citra. Komputer tersebut adalah pemicu cepatnya perkembangan teknologi pengolahan citra digital. Pada tahun 1964 terjadi proses pengolahan citra berupa perbaikan kualitas citra bulan dari distorsi di laboratorium Jet Propulsion. Citra bulan kemudian dikirim oleh pesawat ulang alik *Ranger* 7 [6]. Pengolahan citra digital memiliki spektrum aplikasi yang sangat luas.

1. Bidang Biomedis (*Biomedical*)

   Pengolahan citra digital mengalami kemajuan penting dalam bidang kedokteran ketika ditemukannya tomografi terkomputerisasi pada tahun 1970-an dan kini teknologi tomografi tersebut sudah maju sangat pesat. Pengolahan citra digital dapat digunakan untuk deteksi tumor atau kanker rahim, identifikasi penyakit paru-paru, identifikasi penyakit hati, identifikasi penyakit tulang, segmentasi tulang dari otot yang lainnya, klasifikasi gigi, dan analisis citra mikroskopis. Kemajuan pada bidang kedokteran tersebut karena kemampuan pengolahan citra digital yang mampu menginterpretasikan sinar x (*x ray*). Aplikasi volumetrik 3D *Magnetic resonance Imaging* (MRI) yang mampu mendapatkan pencitraan organ dalam tubuh manusia secara jelas dengan menggunakan *scanner* MRI.

2. Bidang Penginderaan Jarak Jauh (*Remote Sensing)*

   Informasi penting dari sumber-sumber alam seperti pertanian, perairan, kelautan, mineral, hutan, dan geologi dapat diperoleh dengan melakukan analisis citra terhadap citra satelitnya. Pencemaran air laut, kerusakan wilayah, dan pencemaran atau polusi udara dapat dilakukan dengan menganalisis citra satelitnya. Aplikasi yang lain adalah identifikasi kapal laut melalui citra satelit. Aplikasi ini digunakan untuk mengetahui kapal laut yang melewati perbatasan wilayah laut suatu negara.

3. Bidang Biometrika

   Teknologi pengamanan suatu sistem mengalami kemajuan pesat akibat pesatnya perkembangan pengolahan citra pada bidang biometrika. Sebagai contoh pemanfaatan sidik jari, iris, wajah, dan biometrika yang lainnya untuk sistem identifikasi seseorang.

4. Bidang Fotografi

   Kemajuan di bidang fotografi memberi dampak pada bidang-bidang astronomi, *photogrammetry*, dan fisika partikel. Para astronom dapat melakukan pengukuran terhadap posisi dan jarak suatu bintang dari foto udara. Para fisikawan menggunakan citra dari gelembung hidrogen untuk melakukan penelitian dan telah mengantarkan kepada penemuan berbagai partikel dasar.

5. Bidang Desain Visual

   Dunia arsitektur dapat membuat desain visual suatu bangunan sebelum melakukan pembangunan yang sesungguhnya. Desain visual akan sangat mempermudah para arsitek dalam memberikan penjelasan rinci terhadap suatu rancangannya.

6. Meneliti Proses Dinamis

   Penelitian proses dinamis dapat dibantu dengan menggunakan rangkaian citra yang berurutan sesuai dengan perubahan yang terjadi. Aplikasi ini banyak dijumpai di berbagai ilmu pengetahuan seperti dalam ilmu botani. Ilmu botani mempelajari tentang pertumbuhan tanaman dan mekanisme untuk mengontrol pertumbuhan tersebut.

   Contoh lainnya datang dari sisiplin ilmu oseanografi. Untuk meneliti proses mikro yang terjadi di permukaan laut dan daerah sekitarnya. Terkadang akan sangat sulit untuk melakukan erhitungan karena adanya gerakan gelombang. Untuk itu diperlukan adanya citra urutan yang dapat

menggambarkan setiap perubahan yang terjadi. Para ahlii akan dapat melakukan pengukuran berdasarka perbedaan citra-citra terurut tersebut.

7. OCR

   Salah satu aplikasi yang penting dalam dunia pengolahan citra adalah pengenalan objek (*object recognition*). Aplikasi yang paling banyak dijumpai adalah OCR (*Optical Character Recognition*). Aplikasi OCR sering digunakan untuk mengidentifikasi citra huruf untuk kemudian diubah ke dalam bentuk file tulisan. Aplikasi OCR juga digunakan dunia industri seperti industri elektronik untuk mengenali label-label yang ada pada *circuit board*.

8. Bidang Pemampatan Citra dan Video

   Teknologi pemampatan citra dan video (*image and video compression*) berkembang sangat pesat. Teknologi ini mampu memampatkan citra dan video dengan rasio yang tinggi. Dampak kemajuan teknologi ini sangat bermanfaat pada era internet ini di mana bandwidth menjadi sesuatu yang mahal.

9. *Image Retrieval* atau *Image Querying*

   Image retrieval atau *image querying* adalah aplikasi pengolahan citra yang dapat membantu pengguna mengambil atau mencari dengan cepat suatu citra pada database citra berdasarkan query atau permintaan pengguna. Database pada umumnya memiliki ukuran dalam skala besar. Contoh aplikasi *image query* adalah pengguna memasukkan citra wajah kemudian sistem akan mencari dan menampilkan citra-citra yang mirip dengan *query*.

2.3 *Watermarking*

Salah satu karya intelektual yang dilindungi adalah barang dalam bentuk digital, seperti software dan produk multimedia seperti teks, musik, gambar/citra

(*image*), dan video digital. Selama ini penggandaan atas produk digital tersebut dilakukan secara bebas dan leluasa. Hasil penggadaan sama persis dengan aslinya. Pemegang hak cipta atas produk digital tersebut tentu dirugikan karena ia tidak mendapat royalti dari usaha penggandaan tersebut.

Hampir semua data digital bertebarab di dunia internet dan tidak mencantukan informasi pemiliknya. Seseorang yang telah mendapatkan produk digital dapat mengklaim bahwa produk tersebut adalah hasil karyanya. Salah satu cara untuk melindungi hak cipta multimedia adalah dengan menyisipkan informasi ke dalam data multimedia tersebut dengan teknik *watermarking*. Informasi yang disisipkan ke dalam data multimedia disebut *watermark*, dan watermark dapat dianggap sebagai sidik digital (*digital signature*) dari pemilik yang sah atas produk tersebut.pemberian signature dengan teknik *watermarking* ini dilakukan sedemikian sehingga informasi yang disisipkan tidak merusak data digital yang dilindungi. Sehingga, seseorang yang membuka produk multimedia yang sudah disisipi *watermark* tidak menyadari jika didalamnya terkandung label kepemilikan pembuatnya.

Jika ada orang lain yang mengklaim bahwa produk multimedia yang didapatkannya adalah miliknya, maka pemegang hak cipta atas karya multimedia tersebut dapat membantahnya dengan mengekstraksi *watermark* dari dalam data multimedia yang disengketakan.

Teknik *watermarking* adalah proses menambahkan kode identifikasi secara permanen ke dalam data digital. Kode identifikasi tersebut dapat berupa teks, gambar, suara, atau video. Digital *watermarking* harus memenuhi beberapa kriteria seperti *robustness, imperceptibility*, dan *security*. *Robustness* maksudnya seberapa tangguh watermark dapat bertahan dari serangan untuk menghilangkannya seperti *cropping*, *filtering* dan *scaling*. *Imperceptibility* berkaitan dengan keberadaan *watermark* yang tidak boleh tampak oleh mata manusia.

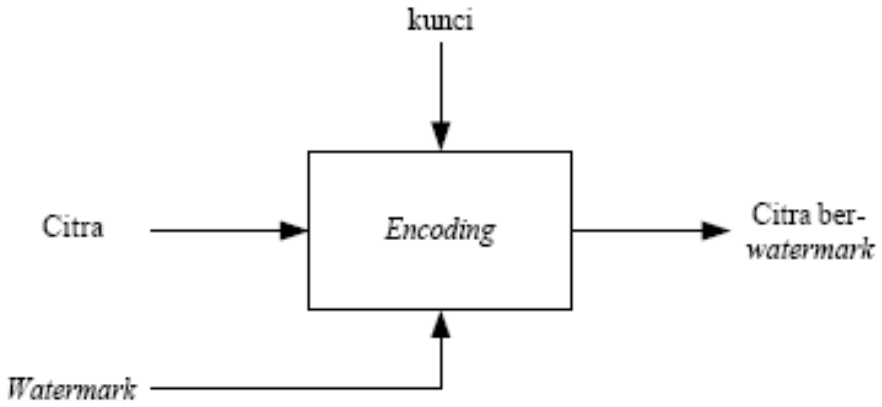
2.3.1 Sejarah *Watermarking*

Watermarking sudah ada sejak 700 tahun yang lalu. Pada akhir abad 13, pabrik kertas di Fabriano, Italia, membuat kertas yang diberi *watermark* dengan cara menekan bentuk cetakan gambar atau tulisan pada kertas yang baru setengah jadi. Ketika kertas dikeringkan terbentuklah suatu kertas yang ber*watermark*. Kertas ini biasa digunakan oleh seniman untuk menulis karya mereka.

Ide *watermarking* pada data digital (sehingga disebut digital watermarking) dikembangkan di Jepang tahun 1990 dan di Swiss tahun 1993. Digital *watermarking* semakin berkembang seiring dengan semakin meluasnya penggunaan internet, objek digital seperti video, citra, dan suara yang dapat dengan mudah digandakan dan disebarluaskan.

2.3.2 Penyisipan *Watermark*

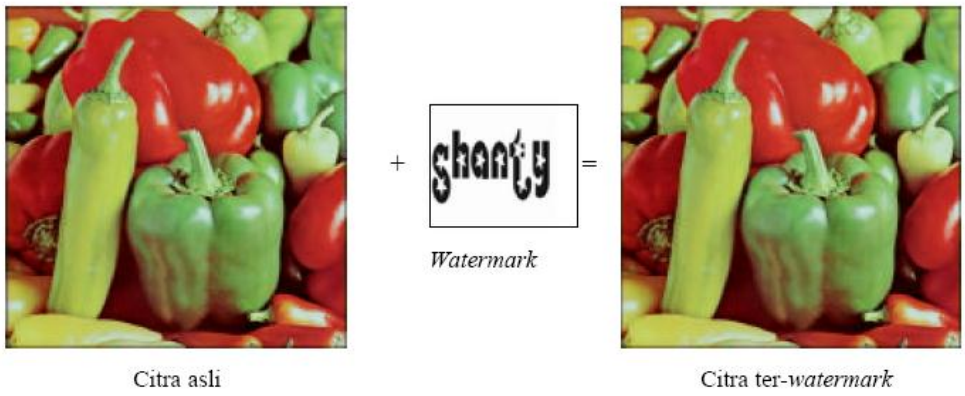
Proses penyisipan *watermark* ke dalam citra disebut encoding. *Encoding* dapat disertai dengan pemasukan kunci atau tidak memerlukan kunci. Kunci diperlukan agar *watermark* hanya dapat diekstraksi oleh pihak yang sah. Kunci juga dimaksudkan untukk mencegah *watermark* dihapus oleh pihak yang tidak berhak.



Gambar 2.5 proses penyisipan *watermark* pada citra digital

Pada gambar 2.6 memperlihatkan sebuah gambar (citra) paprika yang disisipi dengan *watermark* berupa gambar hitam putih yang menyatakan

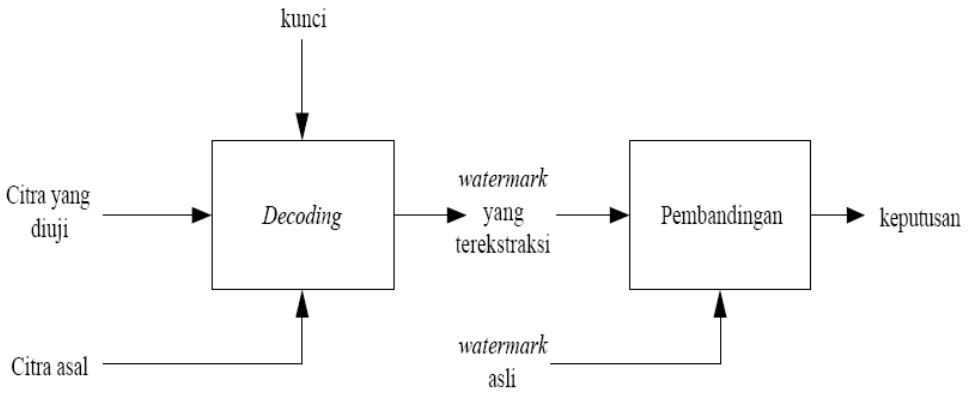
identifikasi pemiliknya. Setelah disisipi *watermark* gambar paprika tetap kelihatan mulus, seolah-olah tidak disisipi watermark.



Gambar 2.6 memberi *watermark* pada citra peppers

2.3.3 Verifikasi *Watermark*

Verifikasi *watermark* dilakukan untuk membuktikan status kepemilikan citra digital yang disengketakan. Verifikasi watermark terdiri atas dua sub-proses, yaitu ekstraksi *watermark* dan pembandingan. Sub-proses ekstraksi *watermark* disebut juga *decoding*, bertujuan mengungkap *watermark* dari dalam citra. *Decoding* dapat mengikutsertakan citra asal (yang belum diberi *watermark*) karena beberapa skema *watermarking* menggunakan citra asal dalam proses *decoding* untuk meningkatkan unjuk kerja yang lebih baik. Sub-proses pembandingan bertujuan membandingkan *watermark* yang diungkap dengan *watermark* asli dan memberi keputusan tentang *watermark* tersebut.



Gambar 2.7 proses verifikasi *watermark* pada citra digital

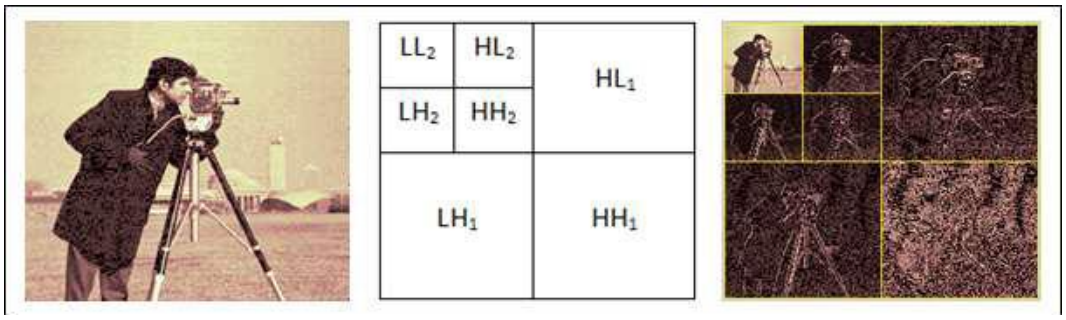
2.4 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Gelombang (*wave*) adalah sebuah fungsi yang bergerak naik turun ruang dan waktu secara periodik. Sedangkan *wavelet* merupakan gelombang yang dibatasi atau dapat dikatakan sebagai gelombang pendek. *Wavelet* mengkonsentrasikan energinya dalam ruang dan waktu sehingga cocok untuk menganalisis sinyal yang sifatnya sementara saja. *Wavelet* pertama kali digunakan dalam analisis dan pemrosesan digital dari sinyal gempa bumi. Penggunaan *wavelet* saat ini sudah semakin berkembang dengan munculnya area sains terpisah yang berhubungan dengan analisis *wavelet* dan teori transformasi *wavelet*. Dengan munculnya area sains ini wavelet mulai digunakan secara luas dalam filtrasi dan pemrosesan data, pengenalan citra, sintesis dan pemrosesan berbagai variasi sinyal, kompresi dan pemrosesan citra.

Transformasi *wavelet* adalah sebuah transformasi matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak. Sinyal bergerak ini dianalisis untuk mendapatkan informasi spektrum frekuensi dan waktunya secara bersamaan. Transformasi sinyal merupakan bentuk lain dari penggambaran sinyal yang tidak mengubah isi informasi dalam sinyal tersebut. Pada awalnya, transformasi *wavelet* digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak. Sinyal bergerak ini dianalisis dalam transformasi wavelet dengan menggunakan teknik *multi-resolution analysis*. Teknik yang digunakan untuk menganalisis frekuensi dengan cara frekuensi yang berbeda dianalisis menggunakan resolusi yang berbeda. Resolusi dari sinyal merupakan ukuran jumlah informasi di dalam sinyal yang dapat berubah melalui operasi filterisasi [16].

Dasar dari DWT dimulai pada tahun 1976 dimana teknik untuk mendekomposisi sinyal waktu diskrit ditemukan [7]. Discrete Wavelet Transform (DWT) adalah mendekomposisi sebuah citra menjadi 4 bagian frekuensi, yaitu satu bagian frekuensi rendah yang disebut LL, dan tiga bagian frekuensi tinggi yang disebut HL, LH, dan HH seperti dalam gambar 2. Transformasi wavelet ini memungkinkan rasio ompresi yang tinggi dengan citra hasil rekonstruksi memiliki

kualitas yang baik. Transformasi wavelet dapat memberikan representasi waktu frekuensi dari sinyal [11].



Gambar 2.8 Transformasi DWT

Gambar 2.8 merupakan dekomposisi citra yang menghasilkan frekuensi yang berbeda LL adalah frekuensi rendah-rendah (*lowlow frequency*), LH adalah frekuensi rendah-tinggi (*low-high frequency*), HL adalah frekuensi tinggi-rendah (*high-low frequency*) dan HH adalah frekuensi tinggi-tinggi *(high-high frequency*).

2.5 Discrete Cosin Transform (DCT)

DCT merupakan salah satu metode yang digunakan dalam melakukan watermarking yang dilakukan dengan cara memetakan himpunan nilai sebanyak N buah pada domain spasial menjadi himpunan lain dengan jumlah yang sama pada domain frekuensial. Nilai dari himpunan tersebut adalah bilangan real [1].

Konsep yang digunakan pada metode DCT adalah mengganti koefisien DCT pada citra menjadi koefisien baru dengan menggunakan fungsi gelombang cosinus diskrit. Pemilihan koefisien yang diganti dapat berbeda beda tergantung pilihan frekuensi. Jika frekuensi yang dipilih adalah frekuensi tinggi dimana koefisien yang dihasilkan bernilai rendah, maka citra hasil *watermark* tidak akan mengalami perubahan berarti sehingga tidak terlihat perubahannya oleh mata manusia. Namun penggunaan frekuensi ini menyebabkan citra lemah terhadap perubahan, misalkan *cropping*, *editing* dan lain-lain (nilai *robustness* rendah). Jika yang dipilih merupkana frekuensi rendah, dimana koefisien citra yang dihasilkan adalah koefisien bernilai tinggi, maka citra hasil *watermarking* kuat terhadap

perubahan (nilai *robustness* tinggi) namun perubahan pada citra ini mudah terlihat oleh mata manusia.

Cara mendapatkan nilai koefisiensi DCT adalah dengan menghitung fungsi basis cosinus. Untuk matriks 1 dimensi yang berukuran N, rumus yang digunakan adalah :

$$C(x) = \propto \mathrm{x} \sum_{n=0}^{N-1} I(n) \frac{cos\pi(2n+1)x}{2N} \qquad (1)$$

Dimana

C : koefisien pada indeks ke-x

∝x : faktor skala

n : ukuran matriks

I : image

X : indeks yang sedang dicari

$\propto x$ didapatkan dari

$\propto x$ = 1/sqrt(N) , x = 0

$\propto x$ = sqrt(2/N) , 1≤ x ≤ N-1

Karena citra merupakan 2 dimensi, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$C(x,y) = \alpha x \alpha y \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{m=0}^{n-1} I(m,n) \frac{\cos \pi(2m+1)x}{2M} \frac{\cos \pi(2n+1)y}{2N} \qquad (2)$$

Dimana

C : Koefisien pada indeks ke-x

$\propto x$, $\propto y$: faktor skalar

M : ukuran tinggi matriks

N : ukuran lebar matriks

I : image (citra)

X, y : indeks yang sedang dicari nilainya

$\propto x$ didapatkan dari

$\propto x$ = 1/sqrt(M) , x =0

$\propto x$ = sqrt(2/M) , 1≤ x ≤ M-1

$\propto y$ = 1/sqrt(N) , y =0

$\propto y$ = sqrt(2/N) , 1≤ x ≤ N-1

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menyisipkan *watermark* ke dalam citra adalah sebagai berikut :

1. Transformasikan nilai-nilai pada citra untuk mendapatkan nilai koefisien DCT citra. Dengan menggunakan rumus yang sudah dijelaskan
2. Tentukan frekuensi yang akan disisipi watermark. Pemilihan frekuensi akan mempengaruhi nilai robustness dan impercepbility.
3. Sisipkan *watermark* ke dalam koefisien DCT. Ubah nilai koefisien DCT

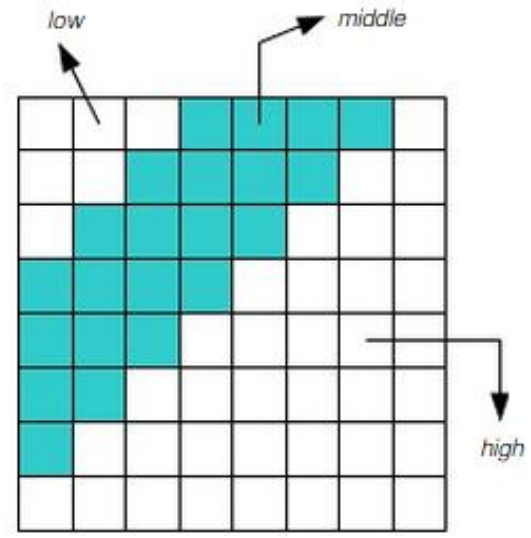
Setelah menyisipkan watermark melakukan proses ekstraksi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan ekstraksi adalah sebagai berikut

1. Lakukan transformasi pada citra asli dan citra watermark seperti pada proses penyisipan.
2. Bandingkan hasil koefisien DCT kedua citra. Jika hasil koefisien berbeda maka kemungkinan citra telah memiliki watermark
3. Cari nilai watermark dengan menggunakan rumus yang sama saat mengubah koefisien DCT saat penyisipan.
4. Buat sebuah himpunan bilangan acak yang sama dengan bilangan acak pada proses penisipan.
5. Ubah setiap nilai -1 menjadi 0.
6. Susun nilai-nilai tersebut dengan mengubah nilai 0 menjadi hitam dan 1 menjadi putih.

Jika BER masih dalam suatu batas toleransi tertentu, maka watermark dikatakan cocok. Namun jika nilai BER berada di luar batas toleransi, maka terdapat beberapa kemungkinan, yaitu watermark inputan berbeda dengan watermark asli ataupun citra telah diubah nilainya.

Kelebihan dari metode DCT adalah kokoh terhadap manipulasi pada stego-object. Selain itu, metode DCT juga tahan terhadap kompresi. Sedangkan kelemahan dari metode ini terletak pada kesulitan dalam implementasinya karena harus melalui langkah-langkah yang panjang sehingga membutuhkan waktu yang lama dalam melakukan penyisipan [12].

Pada DCT citra terbagi menjadi tiga bagian frekuensi yaitu *low, middle* dan *high*, seperti pada gambar 3.9. Penyisipan *watermark* pada bagian *low* frekuensi dapat merusak citra karena mata manusia lebih peka pada frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi lebih tinggi.



Gambar 2.9 pembagian tiga kanal frekuensi pada DCT

2.6 Singular Value Decomposition (SVD)

Dalam aljabar linier, *Singular Value Decomposition* adalah sebuah faktorisasi dari matriks bilangan nyata atau kompleks yang berbentuk persegi. Beberapa aplikasi yang memanfaatkan *Singular Value Decomposition* adalah dalam bidang pengolahan sinyal dan statistik. *Singular Value Decomposition* dapat dilihat sebagai generalisasi dari teorema spektral yang berubah ubah, tidak harus selalu persegi, dan berbentuk matriks [10]. Teorema spektral menyatakan bahwa matriks normal dapat didiagonalkan (direpresentasikan sebagai matriks diagonal pada beberapa basis). *Singular Value Decomposition* merupakan salah

satu teknik analisis numerik dalam mendiagonalkan suatu matriks. Teknik ini kini digunakan dalam menyisipkan *watermark* ke dalam citra. Teknik ini merupakan teknik yang lebih baru jika dibandingkan dengan DCT.

Misalkan terdapat sebuah citra berukuran M x N yang akan diberi watermark. Citra tersebut dapat dipresentasikan dalam sebuah matriks bukan nol dan dibuat menjadi persamaan :

$$C = USV^T \qquad (4)$$

Dimana

C : matriks dari citra berukuran M x N

U : matriks ortoghonal berukuran M x M

S : matriks singular dengan ukuran M x N

V : matriks orthogonal berukuran N x N

Misalkan ada sebuah matrik $A = \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 1 & 3 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

Maka

$$A.A^T = \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 1 & 3 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 3 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 & 14 & 0 & 0 \\ 14 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Setelah itu cari eigenvaluenya

$$\begin{bmatrix} 20-\lambda & 14 & 0 & 0 \\ 14 & 10-\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda \end{bmatrix} x = (W - \lambda I)x = 0$$

Dari W-αI didapatkan 4 buah eigenvalue

α = 0,

α = 15+ akar pangkat dari 221.5~29.883

α = 15- akar pangkat dari 221.5~0.117

kemudian didapatkan persamaan dengan menstubtitusikan eigenvalue pertama

19.883x1 + 14x2 = 0

14x1 + 9.883x2 = 0

X3 = 0

X4 = 0

Solusi yang memenuhi adalah x1 = 0.82, x2 = -0.58 dan x3=x4=0 sehingga solusi ini menjadi kolom pertama matriks U

$$U = \begin{bmatrix} 0.82 & -0.58 & 0 & 0 \\ 0.58 & 0.82 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A^T.A$ akan mengisi kolom dari matriks V maka dilakukan analisis yang sama

$$A.A^T = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 1 & 3 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Didapatkan

$$V = \begin{bmatrix} 0.40 & -0.91 \\ 0.91 & 0.40 \end{bmatrix}$$

S merupakan akar kuadrat dari $A^T.A$ dan didapatkan

$$S = \begin{bmatrix} 5.47 & 0 \\ 0 & 0.37 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks S adalah singular value dari matriks A

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penyisipan *watermark* dengan metode SVD adalah sebagai berikut :

1. Bangkitkan himpunan bilangan random sejumlah himpunan pada citra watermark. Himpunan bilangan ini merupakan indeks pada citra yang akan diubah nilainya.
2. Untuk setiap indeks yang akan diubah nilainya, ubah terlebih dahulu nilai LSB nya menjadi 0.
3. Cari nilai S dari persamaan diatas.
4. Tambahkan nilai S ini dengan nilai *watermark* sehingga ditemukan St dengan persamaan:

$$St = S + aW \qquad (5)$$

   Dimana a adalah faktor pengali yang menentukan kekuatan watermark.
5. Dari St yang didapat, dicari kembali nilai singularnya yaitu

$$S = UwSwVw^T \qquad (6)$$

6. Sw yang diperoleh ini kemudian digunakan untuk menyisipkan watermark bersama dengan matriks U dan V diawal.

$$Aw = USwV^T \qquad (7)$$

Tahap selanjutnya adalah ekstraksi. Citra asli tidak diperlukan dalam tahap ini, sebagai gantinya nilai Uw dan Vw dari St harus dimiliki. Proses ekstraksi dapat dilakukan hanya dengan membalikkan langkah-langkah pada proses penyisipan saja hingga *watermark* berhasil diekstrak dari citra.

2.7 Nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan Mean Squared Error (MSE)

PSNR adalah ukuran rasio antara kekuatan maksimum sinyal yang mungkin dan kekuatan sinyal yang telah rusak. PSNR biasanya dinyatakan dalam skala dicibel (dB). PSNR merupakan pembanding antara kualitas citra hasil

rekonstruksi dengan citra asal. Semakin besar nilai PSNR, semakin baik juga kualitas sinyal yang dihasilkan.

PSNR secara umum digunakan untuk mengukur kualitas pada penyusunan ulang citra. Untuk menghitung PSNR, pertama kali kita harus menghitung MSE dari suatu citra hasil rekonstruksi.

MSE mempresentasikan penjumlahan kumulatif kuadrat error anata citra terekonstruksi dengan citra asli. Semakin rendah nilai MSE, semakin rendah juga error yang terjadi.

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{y=1}^{M} [i(x,y) - i'(x,y)] \qquad (10)$$

Dimana:

M = panjang / baris

N = lebar / kolom

x = ukuran baris dari citra

y = ukuran kolom dari citra

i = matriks citra awal

i’ = matriks citra hasil

Untuk menghitung nilai PSNR digunakan persamaan berikut

$$PSNR = 10 \log_{10} [\frac{255^2}{MSE}] \qquad (11)$$

2.8 Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah algoritma pencarian yang menggunakan prinsip seleksi alam dalam ilmu genetika untuk mengembangkan solusi terhadap permasalahan [14]). Kemunculan algoritma genetika terinspirasi dari teori-teori dalam ilmu biologi, sehingga ada istilah-istilah dan konsep biologi yang digunakan dalam algoritma genetika.

Algoritma genetika yang dikembangkan oleh Goldberg adalah algortima komputasi yang diinspirasi teori evolusi darwin yang menyatakan bahwa kelangsungan hidup suatu makhluk dapat dipertahankan melalui proses

reproduksi, crossover, dan mutasi. Sebuah solusi yang dibangkitkan dalam algoritma genetika disebut sebagai chromosome, kumpulan chromosome tersebut disebut sebagai populasi. Sebuah chromosome dibentuk dari komponen-komponen penyusun yang disebut sebagai gen.

Chromosome-chromosome tersebut akan berevolusi secara berkelanjutan yang disebut dengan generasi. Dalam tiap generasi chromosome-chromosome tersebut dievaluasi tingkat keberhasilan nilai solusinya terhadap masalah yang ingin diselesaikan (fungsi_objektif) menggunakan ukuran yang disebut dengan fitness. Untuk memilih chromosome yang tetap dipertahankan untuk generasi selanjutnya dilakukan proses yang disebut dengan seleksi. Proses seleksi chromosome menggunakan konsep aturan evolusi Darwin yang telah disebutkan sebelumnya yaitu chromosome yang mempunyai nilai fitness tinggi akan memiliki peluang lebih besar untuk terpilih lagi pada generasi selanjutnya.

Chromosome-chromosome baru yang disebut dengan offspring, dibentuk dengan cara melakukan perkawinan antar chromosome-chromosome dalam satu generasi yang disebut sebagai proses crossover. Jumlah chromosome dalam populasi yang mengalami crossover ditetukan oleh paramater yang disebut dengan crossover_rate. Mekanisme perubahan susunan unsur penyusun mahkluk hidup akibat adanya faktor alam yang disebut dengan mutasi direpresentasikan sebagai proses berubahnya satu atau lebih nilai gen dalam chromosome dengan suatu nilai acak. Jumlah gen dalam populasi yang mengalami mutasi ditentukan oleh parameter yang dinamakan mutation_rate. Setelah beberapa generasi akan dihasilkan chromosome-chromosome yang nilai gen-gennya konvergen ke suatu nilai tertentu yang merupakan solusi terbaik yang dihasilkan oleh algoritma genetika terhadap permasalahan yang ingin diselesaikan.

Hal hal yang harus dilakukan dalam algoritma genetika adalah

1. Mendefinisikan individu, dimana individu menyatakan salah satu solusi atau penyelesaian yang mungkin dari permasalah yang diangkat.
2. Mendefinisikan nilai fitness, yang merupakan suatu ukuran baik tidaknya sebuah individu.
3. Menentukan proses pembangkitan populasi awal.

4. Menentukan proses seleksi yang akan digunakan.
5. Menentukan proses perkawinan silang atau crossover dan mutasi gen yang akan digunakan.

2.9 Serangan terhadap citra ber-watermark

Serangan terhadap citra yang ber-watermark biasanya dilakukan untuk menghilangkan watermark yang disisipkan. Contoh serangan yang sering dilakukan adalah cropping, kompresi, filterisasi, rotasi.

1. Cropping

   Cropping merupakan serangan yang sering dilakukan. Untuk mengatasi serangan ini maka watermark harus disimpan pada tempat tempat yang memungkinkan terjadinya serangan.
2. Kompresi

   Kompresi biasa dilakukan pada file multimedia seperti audio, video, dan citra. Watermark yang disisipkan biasanya lebih tahan terhadap kompresi yang memiliki domain sama dengan domain yang dipakai pada saat watermarking. Misalnya citra yang disisipi watermark menggunakan DCT lebih tahan daripada citra yang disisipi watermark dalam domain spasial [18].
3. Filterisasi

   Untuk menangani serangan filterisasi watermark dapat disisipkan pada frekuensi yang paling sedikit berubah jika terjadi kompresi, dengan memperkirakan filterisasi apa saja yang sering digunakan.

2.10 Hasil-Hasil Penelitian

Pada teknik *hybrid image watermarking* dengan teknik DWT-SVD jenis wavelet tidak mempengaruhi kualitas citra hasil proses watermarking. Faktor *embedded* sangat mempengaruhi kualitas *hybrid image watermarking* dengan menggunakan DWT-SVD. Karakteristik *hybrid image watermarking* memiliki

nilai *imperceptibility* yang tinggi karena sudah diatas nilai standar yaitu untuk PSNR diatas 35 dB.

Tabel 2.1 Hasil *hybrid watermarking* menggunakan DWT-SVD

Original Image	Watermark Image	MSE	PSNR
Lena Image	Copy right image	0.0230	64.5199
Lena Image	Mission completed image	0.0268	63.8425

Pada teknik hybrid DWT-DCT hasil percobaan menunjukkan bahwa imperceptibility dari citra terwatermark mencapai nilai yang tinggi, sekaligus meraih *robustness* yang bagus. Metode yang dirancang diuji menggunakan *attack* citra digital seperti kompresi JPEG, penambahan salt & pepper noise, dan penambahan *additive random noise*. Nilai PSNR yang didapatkan adalah 46.0138 dB.

Attack	Values	PSNR
No attack		46.0138
Rotation	5^0	13.7795
	10^0	11.6437

Tabel 2.2 Hasil *hybrid watermarking* DWT-DCT

Pada teknik DWT-DCT dan SVD nilai PSNR dan NC yang diperoleh menunjukkan bahwa skema ini menghasilkan *watermark* yang tahan terhadap serangan, kualitas citra yang disisipi *watermark* cukup tinggi.

Tabel 2.3 Hasil hybrid watermarking DWT-DCT dan SVD

Lena	Tanpa serangan	Gaussian noise (0,03)	JPEG compression (50)	Rotation(15^0)	Crop (25%)
PSNR	41.4631	36.8678	37.7488	39.1383	36.5290
NC	1	0.9625	0.9960	0.9857	0.9879